

ESTUDO DE METODOLOGIAS PARA ANÁLISE NUMÉRICA DO CAMPO DE TEMPERATURA NO PROCESSO DE SOLDAGEM MIG EM CHAPAS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 304L

Rodrigo Martins Farias, rodrigofarias.mec@gmail.com¹
Paulo Roberto de Freitas Teixeira, prfreitasteixeira@gmail.com¹
Douglas Bezerra de Araújo, daraujo@furg.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande, endereço para correspondência.

Resumo: Os processos de soldagem em chapas envolvem fenômenos físicos e químicos muito complexos e, por isso, difíceis de serem modelados matematicamente. Embora os efeitos termo-mecânico-metalúrgico acoplados sejam importantes, na maioria dos casos são encontrados bons resultados considerando modelos numéricos baseados nas equações da transferência de calor e nas que governam o comportamento estrutural das chapas. De modo geral, o campo térmico é independente do estrutural, permitindo que as soluções sejam realizadas em sequência (térmico-estrutural), sem necessidade de acoplamento. As análises mais adequadas dos processos de soldagem com deposição de material usam a técnica denominada de “element birth and death”, a qual considera a ativação dos elementos pertencentes ao cordão de uma malha de elementos finitos a medida que a fonte de calor se movimenta. Neste trabalho, são apresentadas análises numéricas de soldagem de topo multipasse, com chanfro em V, de chapas de aço inoxidável AISI 304L através do processo MIG convencional. As chapas possuem 9,6 mm de espessura, 200 mm de comprimento e 50 mm de largura. As simulações numéricas são realizadas no software Ansys Multiphysics®, considerando os fenômenos de convecção e radiação, e propriedades térmicas do material (condutividade térmica, calor específico e massa específica) como dependentes da temperatura. A fonte de calor móvel é do tipo Gaussiana. Os formatos da poça de fusão, obtidos dos experimentos desenvolvidos no Laboratório de Pesquisa em Engenharia da Soldagem (LAPES – FURG) são comparados com os resultados das simulações numéricas. Um dos inconvenientes na aplicação da técnica element birth and death é o fato de que os elementos pertencentes aos passes intermediários têm suas fronteiras vizinhas aos elementos dos outros passes, sendo impedidos, dessa forma, de contemplar os efeitos de radiação. Assim, comparou-se os resultados de dois códigos: o primeiro que adota o método clássico, onde ocorre o impedimento de radiação para os elementos pertencentes aos passes intermediários, e outro que considera os efeitos de radiação no processo. Observou-se diferenças nos resultados pelo uso dos dois algoritmos, concluindo-se que os efeitos de radiação são muito importantes na região de deposição de material.

Palavras-chave: Processo de soldagem, simulação numérica, transferência de calor.

1. INTRODUÇÃO

As soldas são partes essenciais das estruturas de engenharia (Yaghi *et al*, 2004). As tensões residuais introduzidas na região soldada, devido a não linearidades térmicas durante o processo de soldagem podem ter efeitos prejudiciais, tornando-se pertinente simular o processo de soldagem para prever o comportamento das estruturas soldadas. Analisando fisicamente, o calor não uniforme recebido pelo material durante o processo de soldagem gera expansão térmica diferencial ao redor do cordão de solda. A baixa temperatura do material ao redor do cordão reprime a sua expansão, produzindo deformações plásticas e tensões residuais. A interação das tensões residuais e deformações plásticas produzem distorções na peça no final do processo.

O processo de soldagem envolve fenômenos físicos e químicos muito complexos e, por esta razão, são difíceis de serem modelados matematicamente. Nos últimos anos, a aplicação da simulação numérica no processo de soldagem foi impulsionada principalmente devido ao aumento da capacidade de processamento dos computadores e da disponibilidade de programas comerciais, sendo que o Método dos Elementos Finitos tem sido o mais utilizado pela comunidade científica para a simulação destes tipos de problemas.

É comum simplificar o problema na análise de pelo menos três campos: o térmico, o mecânico e o metalúrgico. Segundo Lindgren (2006) e Dong (2003), é admissível adotar uma análise termomecânica desacoplada sem que ocorra uma perda significativa de precisão nos resultados, sendo encontrados bons resultados e com maior simplicidade, considerando apenas as análises de transferência de calor e mecânica no modelo matemático dos materiais base e do

cordão de solda. Primeiramente, uma análise térmica transiente é efetuada, na qual é determinada a distribuição de temperaturas para cada um dos passes da soldagem. O campo de temperaturas de cada passo de tempo é então lido como uma carga térmica para calcular os deslocamentos e tensões em uma análise estrutural subsequente. Logo, o estudo do campo térmico através da simulação da soldagem tem grande influência no estudo das etapas posteriores, principalmente no que está relacionado à previsão das distorções e tensões residuais. Este trabalho está focado no estudo da primeira análise, a térmica transiente.

Brickstad e Josefson (1998) simularam as tensões residuais devido à soldagem usando o ABAQUS®, consistindo na análise dos campos térmico e estrutural. Eles utilizaram a técnica conhecida como “*element birth and death*” que considera a ativação dos elementos pertencentes ao cordão de solda de uma malha de elementos finitos, à medida que a fonte de calor se movimenta. Esta ativação simula a deposição de pequenas porções de material conforme a fonte de calor avança, fazendo com que a técnica se aproxime muito mais da realidade, ao contrário do método tradicional, que considera todo o passe presente desde o início da simulação.

Para uma análise mais abrangente, Murthy *et al.* (1996) reporta que as formulações térmicas e mecânicas devem levar em consideração as não linearidades devido a variação das propriedades do material e dos coeficientes de transferência de calor com a temperatura, assim como a inclusão das condições de contorno para o fenômeno de radiação. Deng e Murakawa (2006) utilizam as mesmas propriedades para o material de base e o de preenchimento, obtendo resultados muito próximos da realidade.

Um dos principais inconvenientes da aplicação da técnica “*element birth and death*” é o fato de que os elementos pertencentes aos passes intermediários de uma soldagem têm suas fronteiras vizinhas aos elementos dos outros passes, sendo impedidos, dessa forma, de contemplar os efeitos da radiação e transferir este calor para o ambiente, através de elementos na malha que computam apenas este fenômeno.

Neste estudo foram testadas duas abordagens diferentes em relação à transferência de calor por radiação, conforme o passe de soldagem é efetuado. Na primeira, a qual será chamada de código 1, não estão contemplados os efeitos da radiação na superfície do cordão que está sendo depositado. Já na nova abordagem, que neste trabalho é chamada de código 2, foi possível contemplar este fenômeno sobre o cordão de solda durante todo o processo, mesmo para os passes intermediários de uma soldagem multipasse.

Espera-se, assim, que os resultados do código 1 devam apresentar uma maior porção de material fundido no cordão de solda do que a do código 2 e, conseqüentemente, maiores temperaturas de pico nos ciclos térmicos, já que o calor do processo proveniente da radiação não é transferido ao ambiente como deveria, fazendo com que esta energia térmica se acumule na peça. Analisando a teoria, isto provavelmente deve ocorrer devido ao fato da energia relacionada com a radiação depender da temperatura à quarta potência, daí resultando em temperaturas mais altas que as do código 2.

2. ANÁLISE TÉRMICA DO PROCESSO

Durante o processo de soldagem, o campo de temperaturas é governado pela equação da condução de calor, dada por:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_v = \rho(T) C_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

onde T é a temperatura, $k(T)$ é a condutividade térmica, $\rho(T)$ é a massa específica, $C_p(T)$ é o calor específico e Q_v é o fluxo de calor por unidade de volume. As condições de contorno nas superfícies externas das chapas levam em conta a transferência de calor por convecção e radiação.

O fluxo de calor devido à convecção (q_c), em relação ao fluido existente ao redor da chapa, é dado pela lei do resfriamento de Newton

$$q_c = h_c (T - T_0) \quad (2)$$

onde T é a temperatura da superfície externa das chapas, T_0 é a temperatura do fluido ao redor delas e h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção. Este coeficiente depende das condições de convecção na superfície do sólido, além de propriedades do fluido e do sólido.

O fluxo de calor devido a radiação, q_r , é governado pela lei de Stefan-Boltzmann, como segue

$$q_r = \varepsilon_r \sigma_r (T^4 - T_0^4) \quad (3)$$

onde ε_r corresponde a emissividade na superfície do material, e σ_r é a constante de Stefan-Boltzmann. O valor da emissividade depende diretamente da temperatura alcançada durante o processo de soldagem (Araújo 2012), que varia da faixa da temperatura ambiente até aproximadamente 1450 °C. De maneira geral, quanto maior a temperatura, maior será o valor da emissividade para metais no estado sólido.

No estudo de caso apresentado, o calor devido ao arco da soldagem foi modelado como uma fonte de calor móvel, com uma distribuição bidimensional baseada em uma distribuição Gaussiana. Assim, a distribuição de calor na superfície da chapa está relacionada com a posição r (cuja origem é o centro do arco), de acordo com a expressão abaixo (Goldak and Akhlaghi, 2005).

$$q(r) = \frac{\eta UI}{2\pi\sigma^2} e^{-(r^2/2\sigma^2)} \quad (4)$$

onde $q(r)$ é o fluxo de calor em uma superfície de raio r , η é o rendimento térmico do processo de soldagem aplicado, U é a tensão, I é a corrente e σ é a distância radial do centro.

Na Fig. 1, pode-se visualizar uma distribuição Gaussiana, como a utilizada nas simulações.

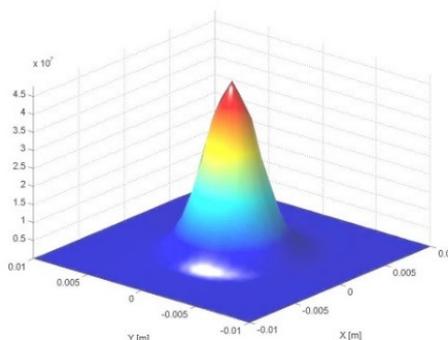


Figura 1. Formato da distribuição Gaussiana utilizada na simulação da soldagem.

3. ESTUDO DE CASO

O caso consiste em uma soldagem de topo que foi estudada numérica e experimentalmente. Os experimentos foram desenvolvidos no Laboratório de Pesquisa em Engenharia da Soldagem (LAPES), localizado na Universidade Federal do Rio Grande (FURG). O experimento consistiu na soldagem de topo, do passe de raiz, com penetração total, de diversos corpos de prova, compostos por duas chapas de 200 mm x 50 mm cada, com espessura nominal de 9,6 mm, conforme Fig. 2. A soldagem completa da chapa necessita de um passe de raiz e dois de preenchimento.

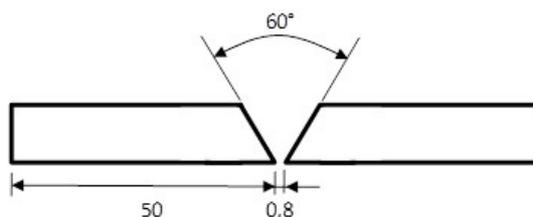


Figura 2. Seção transversal do corpo de prova, com dimensões (mm).

O material das chapas é o aço inoxidável AISI 304L e o processo de soldagem utilizado foi o *Metal Inert Gas* (MIG) convencional, com fonte de tensão constante, utilizando Argônio + 2% O₂ como gás de proteção, com vazão de $2,6 \cdot 10^{-4}$ m³/s. A distância bico de contato peça (DBCP) é de 12 mm e a velocidade de soldagem no primeiro passe é de 4,16 mm/s. Na Tab. 1 encontram-se os valores de algumas grandezas dos ensaios de soldagem. A seção transversal da poça de fusão foi obtida cortando-se o corpo de prova na sua seção central e realizando um ataque químico para efetuar sua posterior análise metalográfica.

Tabela 1. Parâmetros utilizados nos ensaios de soldagem dos corpos de prova.

Tensão média monitorada (V)	16,6
Corrente média monitorada (A)	155
Velocidade de alimentação (m/s)	0,0915
Velocidade de soldagem (m/s)	4,16
DBCP (mm)	12

Nas simulações numéricas, foram utilizados os dados de tensão e correntes médias para determinar um fluxo de calor de 2.573 W. Adotou-se um rendimento térmico de 85%, valor este que, segundo Modenesi *et al.* 2006, se encontra na faixa usual de rendimento térmico para o processo de soldagem MIG. A condutividade térmica (k), o calor específico (C_p) e a massa específica (ρ), variáveis com a temperatura, para o aço inoxidável AISI 304L, foram implementadas de acordo com os valores da Fig. 3. Segundo os dados de Touloukian e DeWitt (1970), foi usada uma emissividade constante de $\epsilon_r = 0,7$ para o aço em questão. De acordo com as considerações feitas por Darmadi *et al.* (2012), foi utilizado um coeficiente de transferência de calor por convecção igual a $h_c = 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Diversos valores para σ foram testados, com a finalidade de obter o resultado mais satisfatório para a largura da poça de fusão deste tipo de aço inoxidável. Encontrou-se um valor de $\sigma = 1,2$ como o mais adequado para a distribuição gaussiana em questão.

Em relação à convecção de material fundido na poça de fusão, as simulações apresentadas não são capazes de contemplar tal fenômeno. Conforme apresentado por Deng *et al.* (2008) e diversos outros pesquisadores, foi utilizado uma condutividade térmica equivalente, acima da temperatura de fusão, várias vezes superior a apresentada por este material a temperatura ambiente. Assim, esta transferência de calor por condução se torna equivalente a uma transferência de calor por convecção em um fluido.

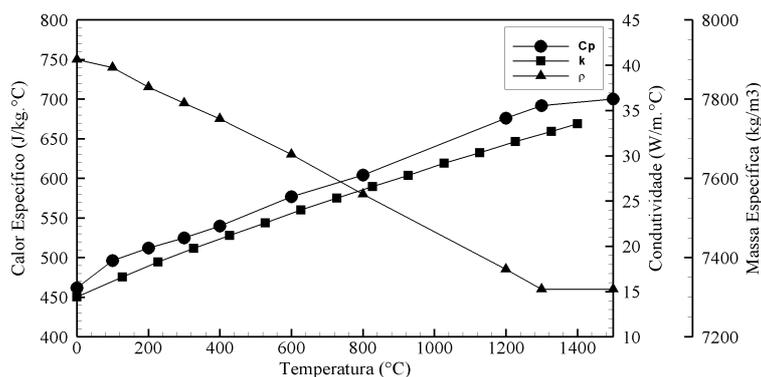


Figura 3. Valores das propriedades utilizadas para o aço inoxidável AISI 304L (Deng e Murakawa, 2006, Ho e Chu, 1977).

As análises numéricas foram realizadas com o software *ANSYS Multiphysics*[®], resolvendo a Eq. (1) através do Método dos Elementos Finitos. Os códigos foram elaborados adotando elementos de superfície como responsáveis pela troca de calor devido à radiação com o ambiente, gerados automaticamente nas faces externas dos elementos tridimensionais. O código denominado de código 1 foi construído na forma convencional, ou seja, a malha possui todos os três passes presentes. Dessa forma, os elementos do primeiro passe, passe de raiz, que é estudado neste trabalho, tem suas fronteiras superiores bloqueadas pelos elementos do segundo passe, impedindo a existência de elementos de superfície e, por conseguinte, a consideração dos efeitos de radiação nesta região. O código 2 é elaborado de forma a evitar este inconveniente. Para isso, a malha gerada neste código tem apenas os elementos do primeiro passe, permitindo que as faces superiores desses elementos tenham presentes os elementos de superfície que contemplam os efeitos de radiação.

Foram utilizados elementos do tipo hexaedro na região do cordão de solda e nas partes mais afastadas da chapa. Para conectar estas duas regiões foram utilizados elementos do tipo tetraedro, conforme mostra a Fig. 4.

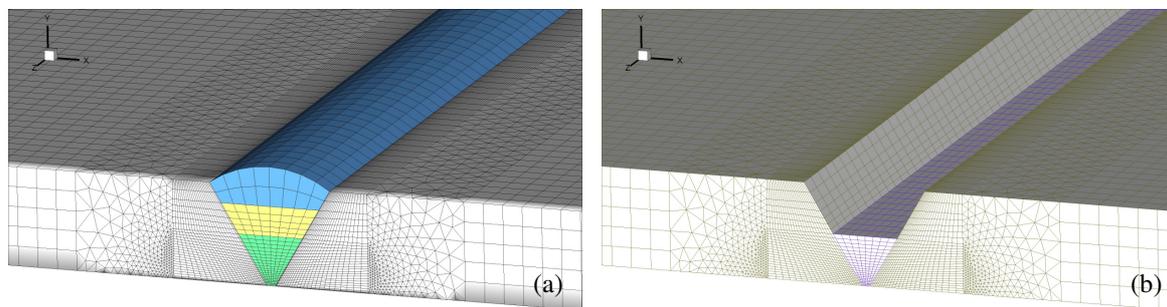


Figura 4. Malha de elementos finitos para o código 1 (a) e para o código 2 (b).

Para a análise do código 2, são apresentadas duas malhas, uma grosseira e outra refinada. Enquanto a malha grosseira possui um tamanho médio de aresta de 0,2 mm na seção transversal, na região do cordão de solda, a malha refinada possui 0,1 mm de tamanho de aresta do elemento. A malha da simulação (código 2, refinada) utilizada para comparação com o experimental possui 263940 elementos e 191899 nós. O passo de tempo é de 0,4 s e toda a simulação da soldagem dura 40 s, onde a fonte de calor se move entre as extremidades da chapa no sentido longitudinal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise de sensibilidade da malha

Para analisar a influência do tamanho dos elementos da malha nos resultados obtidos pelo uso do código 2 (que contempla a radiação), os formatos da poça de fusão obtidos numericamente na seção transversal no meio da chapa foram comparados com resultados obtidos experimentalmente. As larguras da poça de fusão, mais especificamente nas faces inferior e superior do cordão de solda, foram as dimensões utilizadas como referência para a validação. A linha utilizada para definir estas dimensões foi a linha isoterma de 1390 °C, que é a temperatura de *liquidus* do aço inoxidável AISI 304L. São apresentadas duas malhas: uma é denominada de malha grosseira, que foi utilizada para obtenção dos primeiros resultados; e a outra é a malha refinada, com elementos pequenos o suficiente para ter uma boa discretização do espaço, e a partir da qual não houve variação significativa de resultados ao refiná-la ainda mais. As seções transversais, tanto da malha grosseira quanto da malha refinada, são mostradas na Fig. 5, juntamente com o resultado experimental. As isolinhas em preto representam os resultados da malha grosseira, enquanto que as isorregiões coloridas referem-se ao que foi obtido com a malha mais refinada. A região de cor vermelha possui temperaturas acima da temperatura de fusão do material. A largura da poça de fusão na face inferior do experimento foi utilizada como principal dimensão para as comparações, já que esta é a dimensão que apresenta a maior variação entre uma simulação e outra. Esta dimensão, no experimento, possui 3,2 mm de largura. A largura obtida com a malha refinada foi de 3,1mm, enquanto o resultado da malha grosseira foi de 2,5 mm. Observa-se a maior aproximação do resultado obtido pela malha mais refinada em relação ao experimental (apenas 3,1% de diferença), enquanto que a malha grosseira apresenta uma diferença de 22% em relação à dimensão experimental.

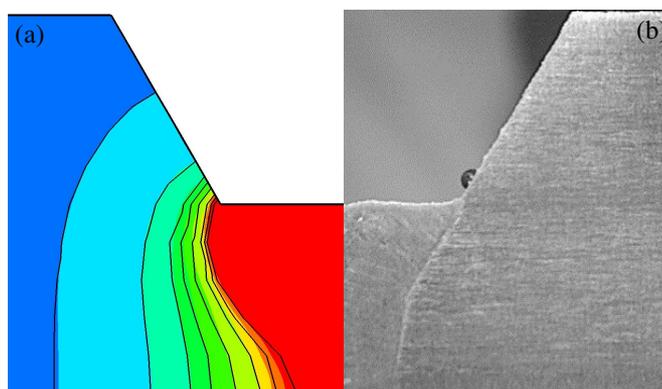


Figura 5. Comparação entre os resultados do código 2, malha refinada e grosseira (a), e o resultado experimental (b).

A Fig. 6 mostra a distribuição de temperaturas ao longo do processo de soldagem utilizando o código 2 para três instantes (4 s, 20 s e 38 s) durante a simulação. É possível observar, de acordo com a técnica “*element birth and death*”, como o material vai sendo depositado conforme a fonte de calor se desloca e a forte variação de temperatura nas chapas, com valores maiores concentrados na região de soldagem.

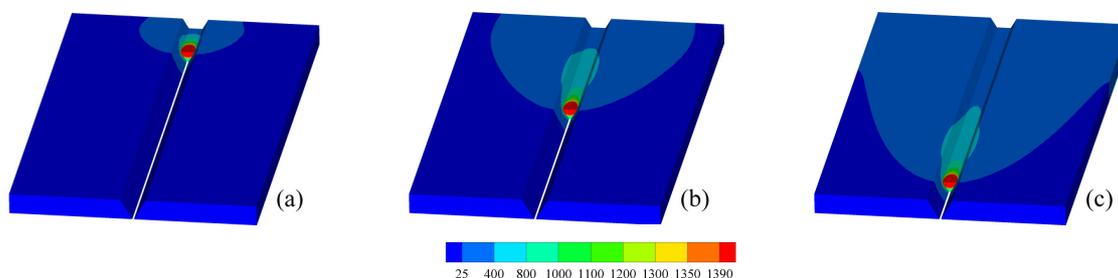


Figura 6. Distribuição de temperatura do código 2 aos (a) 4 s, (b) 20 s e (c) 38 s.

A Fig. 7 apresenta o ciclo térmico de um ponto a 4 mm da linha central longitudinal do cordão de solda, posicionada na face inferior da chapa para as malhas grosseira e refinada. Apesar de ainda não ter-se disponíveis resultados pontuais de medição com termopares, é possível verificar que as diferenças nas temperaturas de pico entre as malhas foram de 40 °C, mostrando a importância de verificar a sensibilidade dos resultados quanto ao tamanho dos elementos.

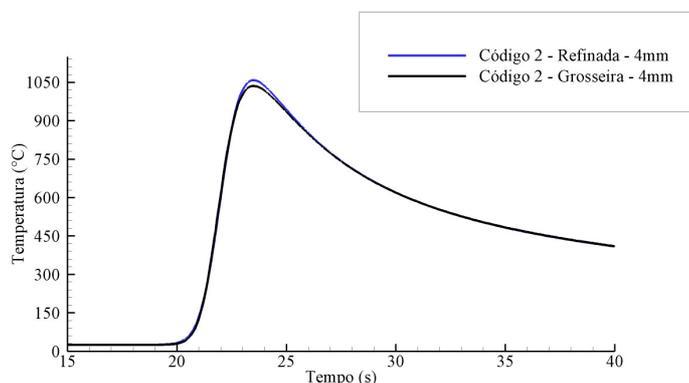


Figura 7. Comparação entre os ciclos térmicos, malhas grosseira e refinada do código 2.

4.2. Comparação entre os dois códigos

A Fig. 8 mostra as seções transversais com as distribuições de temperatura para os dois códigos usados neste trabalho. Verifica-se que o fato do código 1 (Fig. 8b) não contemplar os efeitos da radiação entre cada passe da soldagem multipasse, faz com que o resultado apresente uma porção maior de material fundido na zona de fusão em relação ao do código 2 (Fig. 8a), o qual contempla este fenômeno.

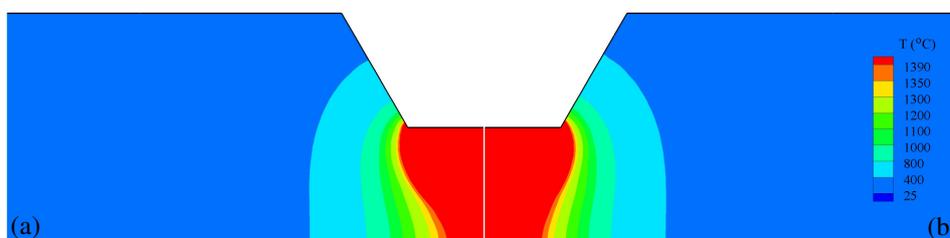


Figura 8. Comparação entre os resultados do código 2 (a) com o código 1 (b).

A Tab. 2 apresenta os resultados da largura da face inferior da poça de fusão do passe de raiz, para o experimento e para os dois casos de simulação considerados. Fica claro que a desconsideração da radiação entre passes pode acarretar em erros de mais de cinquenta por cento em relação à largura da face inferior da poça de fusão obtida experimentalmente.

Tabela 2. Resultados obtidos para a largura da poça de fusão na face inferior do passe de raiz.

Casos sob estudo	Valor experimental (mm)	Valor numérico (mm)	Erro (%)
código 1	3,2	4,9	53,1
código 2	3,2	3,1	3,1

A Fig. 9 mostra os ciclos térmicos obtidos pelos códigos 1 e 2 para pontos distantes do centro da solda de 4 mm, 8mm e 12 mm. É possível perceber que a abordagem que não contempla a radiação entre passes possui uma temperatura de pico maior do que aquela que contempla este fenômeno, chegando a diferenças de mais de 100 °C, no caso do ponto localizado a 4 mm da linha de centro do cordão de solda. Também é possível verificar que quanto mais afastado do cordão de solda, menor é a diferença entre as duas abordagens numéricas. Contudo, o resultado térmico global das simulações tem enorme interferência em uma posterior análise mecânica, já que o campo de temperaturas é utilizado para calcular os deslocamentos e distorções da peça após efetuada a soldagem.

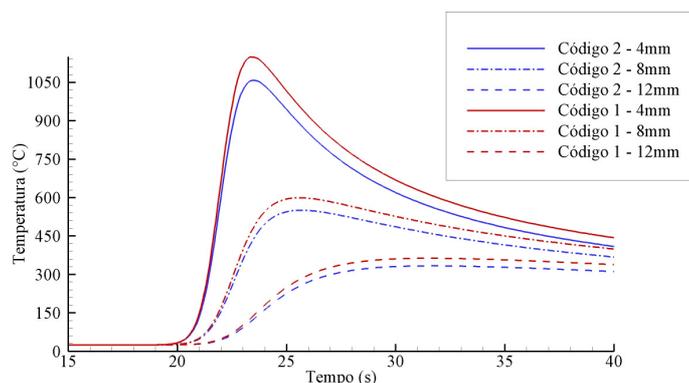


Figura 9. Comparação entre os ciclos térmicos dos resultados do código 1 e do código 2, a 4 mm, 8 mm e 12 mm do centro da solda.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo, foram avaliadas duas abordagens de simulação numérica da soldagem de topo realizada com o processo MIG, no que se refere a transferência de calor por radiação. Estas análises foram realizadas no software *ANSYS Multiphysics*[®], através do Método dos Elementos Finitos.

Primeiramente, foi realizada uma análise de sensibilidade de malha e posterior validação, utilizando como referência o formato da poça de fusão obtida experimentalmente. As larguras das faces superior e inferior da poça de fusão obtidas numericamente tiveram boa concordância com o experimento, obtendo-se erros da ordem de 3% para estas dimensões. É importante enfatizar que os resultados alcançados tiveram boa concordância apenas para os parâmetros utilizados. Talvez sejam necessários alguns ajustes caso se deseje simular outros processos de soldagem ou materiais diferentes dos aços inoxidáveis.

Posteriormente, foi feita a comparação de resultados entre dois códigos, que possuem abordagens diferentes. Enquanto o código 1 não contempla os efeitos de radiação no cordão de solda, o código 2 computa este efeito. Ficou comprovado que o fato de não existir transferência de calor por radiação no código 1 fez com que o calor do processo não fosse corretamente dissipado para o ambiente, ficando então acumulado na peça, o que levou a temperaturas de pico maiores e em uma maior dimensão da poça de fusão, se comparado com o código 2. Estas considerações são muito importantes, pois o campo de temperaturas gerado na análise térmica está fortemente ligado com o campo de distorções e tensões residuais em uma posterior análise mecânica do processo. Isto justifica a utilização de um modelo térmico que se aproxime ao máximo da realidade, no que diz respeito aos resultados experimentais.

Este trabalho mostrou que a abordagem utilizada para simulação da soldagem utilizando o Método dos Elementos Finitos com uma fonte de calor do tipo Gaussiana é uma boa proposta para a simulação do processo MIG para aços inoxidáveis. Pesquisas futuras devem investigar a aplicabilidade do código 2 para os passes subsequentes de uma soldagem multipasse.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao projeto PRONEM (processo 11/2046-8), financiado pela FAPERGS, ao mestrando Mauricio Silva e ao engenheiro Daniel por conduzirem os experimentos no Laboratório de Pesquisa em Engenharia da Soldagem (LAPES), da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

7. REFERÊNCIAS

- Araújo, D. B., 2012, "Estudo de distorções em soldagem com uso de técnicas numéricas e de otimização", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.
- Brickstad B., Josefson B. L., 1998, "A parametric study of residual stresses in multi-pass butt-welded stainless steel pipes", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol.75, pp. 11-25.
- Darmadi, D. B., Tieu, A. K., e Norrish, J., 2012, "A validated thermal model of bead-on-plate welding", *Heat and Mass Transfer*, 48(7), pp. 1219-1230.
- Deng, D. e Murakawa, H., 2006, "Numerical simulation of temperature field and residual stress in multi-pass welds in stainless steel pipe and comparison with experimental measurements", *Computational Materials Science*, Vol. 37, pp. 269-277.
- Deng, D., Murakawa, H. e Liang, W., 2008, "Numerical and experimental investigations on welding residual stress in multi-pass butt-welded austenitic stainless steel pipe", *Computational Materials Science*, Vol. 42, pp. 234-244.
- Dong, P., 2003, "The mechanics of residual stress distributions in girth welds", *Proceedures of the Second International Conference on Integrity of High Temperature Welds*, London, UK, pp. 185-196.
- Goldak, J. A., Akhlaghi, M., 2005, "Computational welding mechanics", Editora Springer.

- Ho, C. Y., e Chu, T. K., 1977, "Electrical resistivity and thermal conductivity of nine selected AISI stainless steels", State of the Art Report, Thermophysical and Electronic Properties Information Analysis Center, CINDAS, Purdue University.
- Lindgren, L. E., 2006, "Numerical modelling of welding", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 195, pp. 6710-6736.
- Modenesi, P. J., Marques, P. V., Santos, D. B., 2012, "Introdução à Metalurgia da Soldagem" Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- Murthy, Y. V., Rao, G. V., e Iyer, P. K., 1996, "Numerical simulation of welding and quenching processes using transient thermal and thermo-elastic-plastic formulations", Computers and Structures, Vol. 60, No 1, pp. 131-154.
- Touloukian, Y. S., DeWitt, D. P., 1970, "Thermophysical Properties of Matter - The TPRC Data Series - Thermal Radiative Properties: Metallic Elements and Alloys", Vol. 7, Purdue University.
- Yaghi, A., Becker, A., 2004, "State of the art review – weld simulation using finite element methods", Relatório Técnico, University of Nottingham, UK.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

STUDY OF METHODS FOR NUMERICAL ANALYSES OF TEMPERATURE FIELD IN THE MIG WELDING PROCESS OF AISI 304L STAINLESS STEEL PLATES

Rodrigo Martins Farias, rodrigofarias.mec@gmail.com¹

Paulo Roberto de Freitas Teixeira, prfreitasteixeira@gmail.com¹

Douglas Bezerra de Araújo, daraujo@furg.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande.

Abstract. *Welding processes on plates involve complex physical and chemical phenomena which make mathematical modeling difficult. Although coupled thermal-mechanical-metallurgical effects are important, good results can be found when numerical models based on heat transfer equation and governing equations of the structural behavior are used. In general, the thermal field is independent of the structural one since procedures can be carried out in one-way (thermal-structural), without the need of coupling. Adequate analyses of welding processes with material deposit have used the element birth and death technique, which considers activation of finite elements that belong to filler material as the heat source moves. This paper describes numerical analyzes of multi-pass butt welds with V chamfer of AISI 304L stainless steel by using the conventional MIG process. The plates are 9.5 mm thick, 200 mm long and 50 mm wide. Numerical simulations are carried out by Ansys Multiphysics® software which considers convection and radiation dissipations and temperature dependence of material properties (thermal conductivity, specific heat and specific mass). The moving heat source is the Gaussian type. The fusion zone shape, obtained by the experiments developed at a welding laboratory at the FURG, located in Rio Grande, RS, Brazil, is compared with numerical ones. One of the drawbacks of birth and death element technique application is the fact that the elements which belong to the intermediate passes have elements of other passes as their boundary neighbors, preventing the radiation effects from being considered. Therefore, results of two algorithms are compared: one of the algorithms adopts the classical method, in which the radiation is impeded by the elements that belong to intermediated passes, whereas the other one enables the radiation effects to happen. Results pointed out some differences which show the importance of the radiation effects on the region of material deposition.*

Keywords: *welding process, numerical simulation, heat transfer*